

importance et contrôle des ravageurs en culture cotonnière au Mali RENOU Alain (CIRAD)

1 Les ravageurs de la culture cotonnière au Mali et leur importance

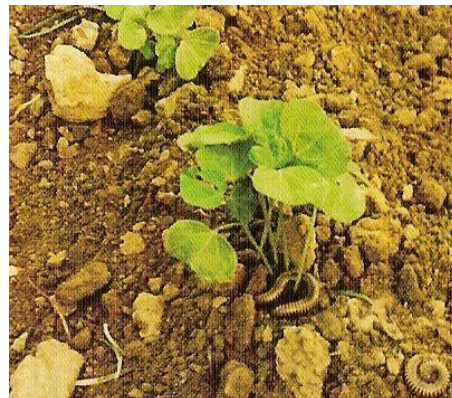
1.1 Un grande diversité des ravageurs présents en culture cotonnière au Mali

En culture cotonnière au Mali plus de 200 ravageurs (annexe 1) ont déjà été répertoriés. Mais dans ce complexe qui est dominé par les coléoptères et les hémiptères (79,5 % des espèces) seules quelques espèces sont réellement très nuisibles : en premier lieu les chenilles des capsules (*Helicoverpa armigera* Hübner, *Diparopsis watersi* Rothschild et *Earias* sp) qui sont certainement les plus préjudiciables, puis les pucerons (*Aphis gossypii* Glover), les aleurodes (*Bemisia tabaci* Gennadius), les jassides (*Empoasca* sp), les chenilles phyllophages (surtout *Syllepte derogata* Fabricius mais aussi *Spodoptera littoralis* Boisduval et *Anomis flava* Fabricius), les mirides (*Campylomma* sp, *C. nicolasi* Puton & Reuter, *C. unicolor* Poppius, *Creontiade pallidus* Rambur, *Euristylus oldi* Poppius, *Helopelthis shoutedeni* Reuter, *Megacoelum apicale* Reuter, *M. scutellare* Poppius, *Stenocapsus leucochilus* Reuter et *Taylorilygus vosseleri* Poppius) et les punaises (*Dysdercus fasciatus* Signoret, *D. völkeri* Schmidt et *D. superstitiosus* Fabricius).

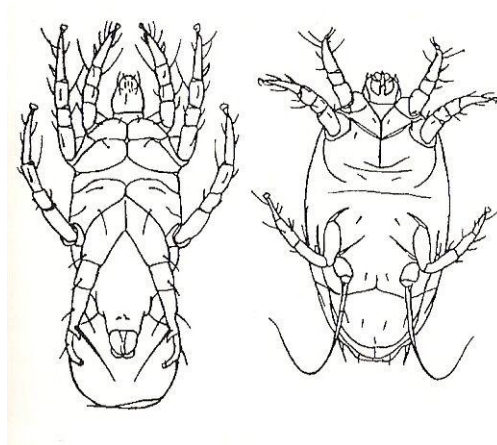
Seules 42,5 % d'espèces déprédatrices rencontrées au Mali sont également observées au Burkina Faso, au Tchad, au Togo et au Cameroun. Ce pourcentage atteint 80,0 % lorsque l'examen se limite aux lépidoptères qui, s'ils ne représentent que 9,3 % des espèces déprédatrices du cotonnier au Mali, sont néanmoins économiquement les plus importants. Les différences observées entre ces pays dans leurs faunes déprédatrices secondaires sont probablement à l'origine des différences de pression parasitaire enregistrées entre ces pays même si l'incidence de ce groupe de ravageurs est souvent difficile à évaluer.

1.2 Les dégâts occasionnés par les ravageurs

1.2.1 Myriapodes : Ils détruisent les graines dans le sol et sectionnent les tiges des jeunes plantules à quelques centimètres de hauteur. Ils sont peu abondants et ne provoquent, uniquement en début de campagne, que des dégâts sporadiques et localisés.



1.2.2 Acariens : Ils n'ont aucune incidence au Mali car les foyers d'attaques de *P. latus* restent limités aux plantes situées à l'ombre des arbres. Ces ravageurs vivent sur la face inférieure des feuilles où ils perforent l'épiderme pour absorber le contenu des cellules. La croissance de l'épiderme inférieur est alors arrêtée mais celle de l'épiderme supérieur continue provoquant ainsi un enroulement vers le bas des bords du limbe. Des déchirures du limbe (dites en coups de couteau) peuvent également apparaître avec le même enroulement des bords vers le bas. Un aspect glacé des faces inférieures des limbes est souvent observé au début des attaques. Mais une différence de coloration entre les deux faces d'un limbe qui toutes deux foncent est toujours très caractéristique.



1.2.3 Thrips : Une seule attaque a été rapportée en octobre 1977, à Kogoni dans des parcelles non traitées. L'espèce responsable des dégâts était *C. impurus*. Ces insectes demeurent en général très discrets, y compris en début de cycle, et ne se rencontrent qu'occasionnellement dans les cultures. Ils vivent sur la surface inférieure des feuilles et se nourrissent du contenu des cellules donnant ainsi une apparence argentée à cette surface de la feuille qui est parsemée de petit point noir résultant des déjections de ce ravageur. D'autres thrips sont présents au Mali mais n'occasionnent que peu de dégâts (déformation de feuilles).



1.2.4 Pucerons : Les infestations sur plantules sont rares et les dégâts occasionnés, même s'ils sont parfois spectaculaires (crispation de feuilles et des pousses), n'ont que rarement une répercussion sur le développement ultérieur des plants. Ces homoptères se développent surtout durant les périodes sèches du mois de juillet avec un maximum de population à la mi-août, quand les cotonniers sont bien

développés. Leurs populations, qui demeurent localisées dans la partie sommitale des plantes, sont alors décimées par les ennemis naturels (essentiellement des coccinelles et des syrphes) et les précipitations à cette période. Elles diminuent à partir de la fin août pour atteindre des niveaux très bas en octobre-novembre. Les infestations de fin de campagne, susceptibles de provoquer le collage de la fibre par dépôt de miellat, sont sporadiques et de faible ampleur. Les pucerons sont vecteurs de la maladie bleue jamais observée au Mali.



1.2.5 Aleurodes : Les populations, constituées à plus de 90 % par *B. tabaci*, n'augmentent surtout qu'en fin de cycle de culture à partir de la mi-septembre, parfois un peu plus tôt. A l'exception de ces dernières années les niveaux d'infestation demeuraient souvent bas et le rôle de ces ravageurs en tant que producteurs de miellat était presque toujours faible, même s'il était plus important que celui des pucerons. Depuis quelques années dans certaines régions les infestations d'adultes sont beaucoup plus importantes en fin de campagne et elles sont souvent associées à des carences en potassium. Enfin les aleurodes sont vecteurs de la mosaïque qui est toutefois peu observée au Mali.



1.2.6 Jassides : Les espèces de jassides les plus fréquentes sont *A. lybica* et *J. fascialis*. Leurs populations sont fort heureusement limitées par la pilosité foliaire des variétés cultivées. Mais, en 1952 certaines lignées présentant des faibles densités de poils avaient été presque totalement détruites par les jassides sur la station de N'Tarla. Ce même phénomène a par la suite été observé à plusieurs reprises, y compris dans d'autres localités comme Farako ou Sougoula (sud de la zone cotonnière) en 1995 et 1996. Ces observations montrent que ces ravageurs sont potentiellement très dangereux. Il est donc nécessaire de maintenir dans les variétés un niveau de pilosité suffisant pour empêcher leurs attaques. En se nourrissant par des piqures au niveau des nervures des feuilles les jassides provoquent des jaunissements des bords du limbe (souvent accompagnés d'un enroulement vers le bas) qui par la suite s'étendent à tout le limbe pendant que les bords rougissent. La feuille finit enfin par se dessécher. La photosynthèse de la plante est perturbée par

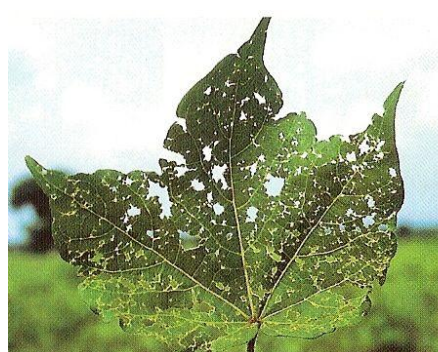
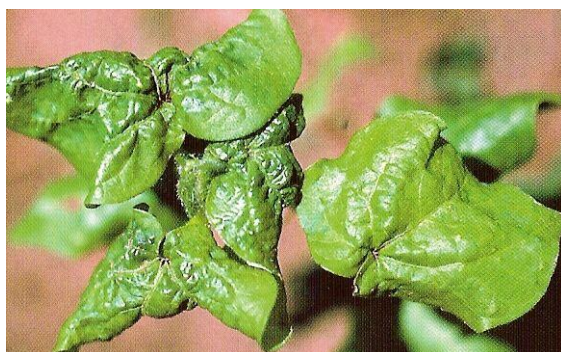
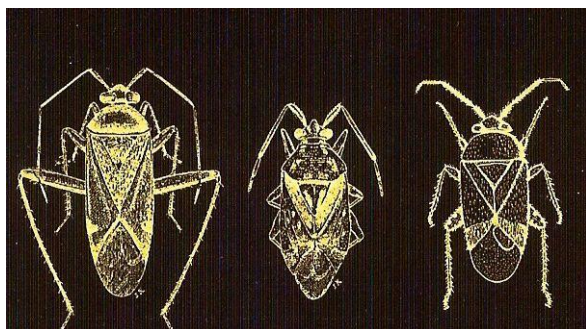
ces attaques et des chûtes d'organes fructifères en résultent. Une autre espèce de jassides, *O. cellulosus*, est plus connue au Mali par la virescence florale qu'il transmet. Cette maladie, qui provoque la stérilité des plants puisque tous les organes floraux sont transformés en organes foliaires, reste très spectaculaire mais n'affecte qu'un pourcentage limité de plants.



1.2.7 Hétéroptères : Ils semblent revêtir au Mali une importance que l'on ne retrouve pas dans les pays voisins. Parmi eux il faut distinguer les punaises vraies (principalement pentatomides et pyrrhcorides comme *Dysdercus*) qui piquent les capsules mais dont l'incidence sur les cultures est encore mal connue. Les essais menés sur la station de Farako montrent qu'elles affectent les récoltes en augmentant les taux de coton jaune et les taux de capsules pourries. Mais elles affectent également le pouvoir germinatif des semences.



Les autres hétéroptères nuisibles sont principalement les mirides, qui sont représentés surtout par *M. apicale* et *Campylomma* spp. Ils peuvent être abondants dans certaines régions (Sikasso et Bougouni) mais les niveaux de populations sont variables d'un champ à l'autre et suivant les années. Ils provoquent des déformations de feuilles à la suite de piqures de nervures, des déchirures de limbes lorsque les méristèmes leur servent de nourriture et la chute de jeunes organes fructifères lorsque ceux-ci sont piqués. Ces dégâts n'affectent que peu la croissance de la plante au Mali mais la chute des organes fructifères peut réduire les rendements.



1.2.8 Cochenilles : *M. hirsutus* a provoqué des dégâts très sévères dans la région de Koutiala en 1996. Jusqu'à cette date cette cochenille n'avait jamais été signalée au Mali. Depuis elle n'est pas réapparue et on peut penser que les infestations de 1996 étaient tout à fait exceptionnelles.

1.2.9 Criquets : Durant les années soixante il est fait mention dans les rapports

annuels de N'Tarla d'attaques précoces de *Z. variegatus*. Les dégâts occasionnés aux jeunes plantes sont qualifiés de sérieux et on parfois justifié la réalisation de traitements insecticides avant la floraison. A l'heure actuelle, cet orthoptère ne s'observe que de façon sporadique dans les parcelles. Les populations sont toujours peu importantes et sans grande incidence.

1.2.10 Fourmis : Les fourmis coupeuses de tige peuvent provoquer des dégâts localisés et sporadiques. Elles sont souvent à l'origine de zones plus ou moins circulaires de quelques dizaines de m² dépourvues de plantes. Leur incidence est en général nulle, mais lorsque plusieurs plages sans plantes apparaissent dans une parcelle cela peut influencer le rendement.

1.2.11 Coléoptères : *S. calcaratus*, *P. decolorata* et *N. dilecta* ne causent des dégâts (perforations de limbe) qu'aux variétés dépourvues de glande à gossypol. La plupart des autres coléoptères sont phyllophages ou se nourrissent de pollen. Ils n'ont aucune incidence économique. Les scarabées (cétoines) qui s'attaquent aux capsules vertes présentent des niveaux de population trop faibles pour causer des dommages importants. C'est également le cas pour les larves d'élatérides et de ténébrionides qui détruisent les semences dans le sol.



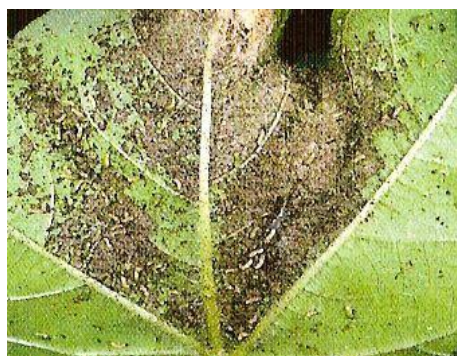
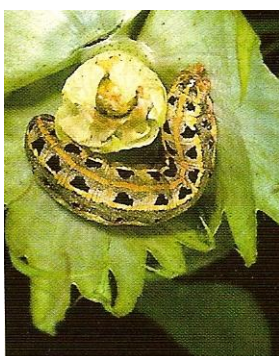
1.2.12 Lépidoptères du feuillage (phyllophages) : Des attaques sévères d'*A. flava* (chenille arpenteuse) ont été enregistrées à partir du début des années soixante, en particulier dans la région nord de production. Ces attaques (larges perforations des feuilles pouvant parfois ne laisser que les nervures) ont été notées durant plusieurs années jusqu'en 1969 où on signale que fin août plus de 80 % des plantes étaient attaquées dans la région de Zamblara. Depuis la fin des années 1970 les populations ont beaucoup diminué et actuellement ce lépidoptère a presque disparu des cultures. Ce changement de statut est peut-être lié à l'introduction des pyréthriinoïdes.



A l'heure actuelle la principale chenille phyllophage est *S. derogata*. Ses dégâts (enroulement des feuilles en cornet) apparaissent dans les parcelles sous forme de «tâches» plus ou moins étendues. Dans les conditions normales les dommages sont faibles et localisés. La présence de ce ravageur traduit souvent une mauvaise utilisation des produits phytosanitaires. Cette espèce est plus fréquente dans le sud de la zone cotonnière (Sikasso, Bougouni). Les populations sont maximales vers la fin octobre, puis diminuent rapidement.



Les autres chenilles phyllophages, y compris *S. littoralis* (dont les pontes sont groupées et qui peut transformer les feuilles en dentelle et s'attaquer aux organes fructifères), ne se rencontrent qu'occasionnellement.



1.2.13 Lépidoptères des organes fructifères : L'espèce la plus dangereuse est actuellement *H. armigera* mais elle n'apparaît pas toujours en nombre important. Les dernières infestations les plus fortes ont surtout été enregistrées de 1996 à 1998. Elles furent liées à une acquisition de résistance aux pyréthrinoides (matières actives utilisées depuis le début des années 1980 pour les combattre). En général les chenilles apparaissent dès la fin du mois de juin et présente un maximum de population entre la mi-septembre et le début octobre (un petit pic en août apparaît toutefois certaines années). Les œufs sont déposés au sommet des plants et dès leur éclosion les chenilles dévorent les ébauches florales, les bractées, le limbe des feuilles ou le bourgeon terminal avant de s'attaquer aux organes fructifères (boutons floraux, fleurs et capsules) dont elles provoquent la chute lorsqu'ils sont encore jeunes (moins de 40 jours) ou lorsqu'ils sont âgés détruisent en partie ou en totalité leur production (avec souvent des développements de pourritures).



Les *Earias* (chenilles épineuses) s'observent régulièrement dans les cultures. Leurs dégâts sont causés au début par *E. biplaga* qui apparaît le premier et peut se comporter en mineur de tiges avant l'apparition des boutons floraux. Cette espèce est ensuite partiellement remplacée par *E. insulana* à partir de la mi-octobre.

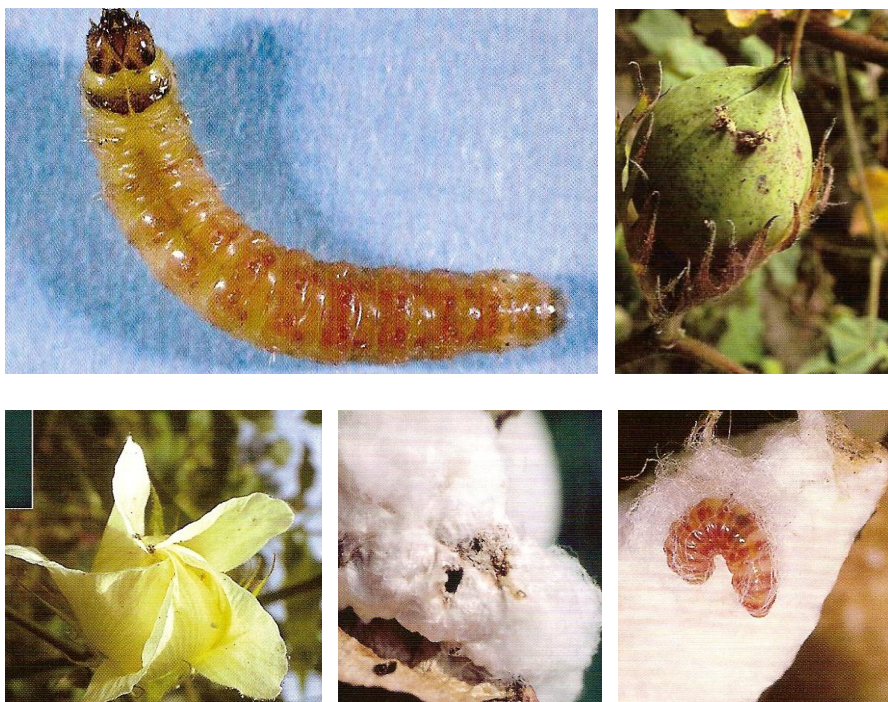


D. watersi est signalé pour la première fois en 1951 sur la station de N'Tarla et jusqu'à la fin des années soixante dix il reste un ravageur important des capsules, suppléant parfois les autres chenilles carpophages. Des œufs de couleurs bleutées éclosent des chenilles qui s'attaquent immédiatement aux organes fructifères dont elles provoquent la chute s'ils ne sont pas trop âgés (les boutons floraux, avant de tomber, peuvent rester attachés au plant de cotonnier par un fil de soie secrété par la chenille qui l'a attaqué). Les premières larves apparaissent en début de floraison, mais les populations n'augmentent vraiment qu'à partir du mois d'octobre. Depuis le début des années 1980 et presque jusqu'à aujourd'hui ce ravageur est resté très discret et son importance économique a été faible. La raréfaction de ce lépidoptère semble être liée à l'utilisation des pyréthrinoïdes mais ce phénomène pourrait rapidement s'inverser si d'autres insecticides venaient remplacer les pyréthrinoïdes. Une surveillance de l'évolution des populations de ce ravageur est donc nécessaire pour prévenir toute modification éventuelle de son statut.



Il faut enfin signaler la présence de deux autres chenilles des capsules, *C. leucotreta*

et *P. gossypiella*, qui sont extrêmement rares dans les cultures de cotonniers au Mali.



1.3 Incidence globale des ravageurs de la culture cotonnière au Mali

S'ils ne sont pas maîtrisés convenablement, l'ensemble des ravageurs de la culture cotonnière au Mali est susceptible d'infliger des pertes de production non négligeables. Très variables d'une année sur l'autre et suivant les régions, les pertes globales dues aux ravageurs sont en moyenne comprises entre 20 et 30 % du potentiel de la culture et sont accompagnées d'une baisse de la qualité de la fibre : en particulier le taux de coton jaune devient plus important et peut atteindre plus de 5 % de la production.

Comme dans de nombreux pays africains producteurs de coton, le contrôle de ces ravageurs au Mali est donc un facteur clé de la production des cotonniers en quantité comme en qualité. Ainsi des actions d'amélioration de la productivité de la culture cotonnière au Mali ne peuvent ignorer cette contrainte même si le Mali possède un atout particulier par rapport aux autres pays africains producteurs de coton : celui d'une incidence plus faible de ces ravageurs qui autorise leur gestion d'une manière respectueuse de la santé humaine et de l'environnement.

2 Les composantes de la protection intégrée contre les ravageurs du cotonnier au Mali

Le concept de protection intégrée est né en Amérique du Nord au début des années 1950 lorsque l'expansion de l'agriculture reposant en grande partie sur l'utilisation de pesticides fit prendre conscience l'opinion scientifique et publique, des possibles dangers des pratiques de cette époque pour la santé humaine et l'environnement.

Au-delà des divergences à propos du libellé et de la définition de ce concept, les mots importants qui y figurent méritent d'être précisés dans leurs implications : **intégrée** et **protection**. Le premier sous-entend que les pratiques qui seront mises en œuvre seront à la fois pluridisciplinaires (faisant appel à plusieurs disciplines) et interdisciplinaires (tirant parti d'interactions bénéfiques) et prendront en compte leurs effets à plusieurs niveaux en particulier économique, écologique et social. La protection intégrée est d'ailleurs considérée comme une composante de la gestion des agro-systèmes au sens large et à ce titre le libellé du projet « gestion intégrée de la production et des déprédateurs » en prend conscience. Le deuxième mot se rapporte au contrôle des nuisances d'ordre phytosanitaire (les ravageurs en particulier) pour les maintenir en-dessous de seuils économiquement préjudiciables.

De nombreux débats ont animé les spécialistes sur la place que pourrait occuper la protection chimique au sein des mesures à mettre en œuvre dans une protection intégrée contre les nuisibles et les ravageurs en particulier. Ces débats ne sont pas encore clos car si une majorité de ces spécialistes accepte actuellement l'emploi raisonné des pesticides après avoir mis en œuvre toutes les alternatives possibles, les partisans d'une exclusion des pesticides sont encore nombreux.

La protection intégrée doit donc mettre l'accent sur toutes les alternatives possibles à la protection chimique (aux niveaux préventif et curatif) et prendre en compte les risques ou les conséquences de chaque mesure sur les plans économique, social et environnemental. La protection intégrée contre les ravageurs doit aussi reposer sur une meilleure connaissance du fonctionnement des agro-écosystèmes pour maintenir toute infestation en-dessous d'un seuil économiquement préjudiciable. En cela le libellé du projet « Gestion Intégrée de la Production et des Déprédateurs du cotonnier » répond parfaitement à cette préoccupation.

2.1 Culture de variétés résistantes

De tous temps les agriculteurs ont été confrontés à la protection de leurs cultures contre des ravageurs. Pour la culture cotonnière, avant l'apparition des premiers pesticides, ils plantaient dans certaines régions des espèces sauvages (*Gossypium arboreum* et *G. herbaceum*) plus résistantes à un certain nombre de maladies et de ravageurs que les espèces cultivées actuellement (*G. hirsutum* et *G. barbadense*). Elles n'étaient certes pas très productives mais elles permettaient d'assurer leurs besoins d'auto-consommation. Ainsi le recours à des variétés résistantes est très ancien pour la culture cotonnière.

2.1.1 variétés résistantes aux maladies transmises par vecteur

Vis-à-vis des maladies transmises par insecte, comme la mosaïque, la maladie bleue ou la virescence, le meilleur moyen de lutte consiste à cultiver des variétés résistantes car à la fois la destruction des vecteurs ne pourra jamais être totale et la transmission de la maladie à un plant peut être le fait de peu d'individus.



La sélection variétale a permis dans certaines situations d'identifier des variétés résistantes ou tolérantes qui ont permis de réduire l'incidence de ces maladies dans les régions cotonnières où elles sévissaient. Mais, dans la recherche de cultivars résistants le sélectionneur doit se méfier des possibles attractions différentielles entre cultivars vis-à-vis d'un vecteur qui pourraient être à l'origine de différences variétales dans les taux de transmission d'une maladie sans qu'il y ait pour autant résistance à la maladie qu'il transmet.

D'autre part, en raison vraisemblablement de différences entre souches d'un pathogène responsable d'une maladie, la résistance n'est pas souvent universelle et la sélection de cultivars résistants à une maladie doit souvent être conduite dans chaque région où la maladie est rencontrée.

2.1.2 variétés résistantes aux ravageurs

Vis-à-vis de ravageurs la résistance peut faire intervenir trois types de mécanismes : l'**antixénose**, l'**antibiose** ou la **tolérance** mais les limites entre les deux premiers mécanismes sont faibles lorsque les qualités nutritives d'un cultivar pour les ravageurs sont en cause. D'autre part, ces mécanismes peuvent parfois se combiner pour conférer une résistance à un ou plusieurs ravageurs.

Dans la mesure où elle n'est que relative, l'antixénose, également appelée la **non préférence**, peut voir ses effets limités si le choix offert à un ravageur se restreint. En ce qui concerne le cotonnier certains caractères morphologiques ont été reconnus pour présenter un certain degré d'antixénose. Le plus couramment cité est la pilosité foliaire qui empêche les jassides de déposer leurs œufs dans les nervures. Son efficacité est dépendante de la position des poils, mais surtout de leur longueur et de leur densité. Différentes combinaisons de ces caractéristiques de pilosité peuvent conférer un même niveau de résistance aux cicadelles mais, si toutes les variétés résistantes à ces ravageurs sont pileuses, toutes les variétés pileuses ne le sont pas. Le caractère glabre diminuerait les pontes de certains lépidoptères et serait également nuisible aux aleurodes. La dureté du limbe et des nervures limiterait également les pontes des jassides et gênerait leur prise alimentaire. La réduction des bractées et leur écartement de la capsule seraient défavorables aux pontes de certains lépidoptères et aux charançons. Elle faciliterait aussi la recherche d'un hôte pour des parasites. L'absence de nectaire peut diminuer l'attraction du cotonnier vis-à-vis de certains ravageurs et réduire les sources d'alimentation de certains insectes piqueurs, mais à l'inverse, l'attraction des auxiliaires serait également affectée. La réduction de la surface foliaire procurée par des feuilles laciniées (feuilles okra) permet souvent de réduire les infestations de

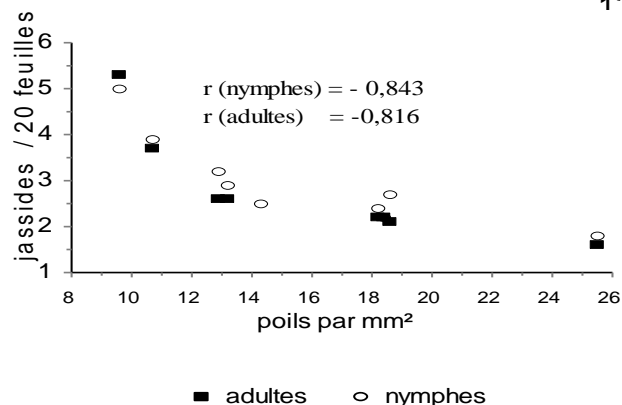
certains ravageurs vivant à leurs dépens mais elle ne présente d'intérêt que si la densité de population par unité de surface est également réduite (cas des jassides). Enfin, certains caractères peuvent présenter plusieurs effets additifs ou opposés sur une population de ravageurs. Ainsi en est-il de l'épaisseur de la cuticule vis-à-vis des jassides (réduction des pontes et prise alimentaire plus difficile) mais à l'inverse la pilosité tout en limitant les pontes de ces mêmes ravageurs gêne leurs parasites et leurs prédateurs dans la recherche de leur hôte ou de leur proie.

La tolérance est la capacité que présente une variété à supporter sans grand dommage des infestations parfois élevées d'un ravageur. Elle offre l'avantage de ne pas pouvoir être contournée mais elle ne réduit pas les populations d'un ravageur donné. L'épaisseur du limbe (du tissu palissadique en particulier) permettrait à une feuille de cotonnier de recouvrir partiellement ou totalement des dégâts que lui infligent les jassides. La compensation fructifère souvent évoquée à propos du cotonnier peut être considérée comme un mécanisme de tolérance mais son expression a souvent ses limites.

L'antibiose qui fait souvent intervenir des caractéristiques chimiques et/ou biochimiques défavorables au développement d'un ravageur pourrait nuire également à certains auxiliaires même si aucun exemple ne peut actuellement être donné. Un pH ni trop acide ni trop alcalin des contenus cellulaires, une forte turgescence foliaire, l'absence de gossypol et de bonnes teneurs de la plante en sucres et protéines, peuvent favoriser le développement de ravageurs, améliorer certaines de leurs caractéristiques biologiques (taux de reproduction ou de survie) et augmenter le pouvoir attractif de la plante en particulier pour des ravageurs habituellement considérés comme secondaires. Les variétés sans glande à gossypol sont ainsi plus sensibles aux ravageurs phyllophages que les variétés normales en particulier en début de campagne vis-à-vis des altises. A l'inverse des teneurs élevées en tannins, en flavonoïdes ou en gossypol peuvent par contre nuire au développement de ravageurs chez le cotonnier.

L'expression d'un caractère procurant une résistance à un ravageur peut parfois dépendre des conditions du milieu ou de culture (cas de la pilosité). Ainsi, une variété résistante à un ravageur dans une région donnée pourra lui être plus sensible dans une autre région si elle présentait des conditions qui modifieraient l'expression des caractères de résistance sans oublier qu'il peut aussi exister des différences de virulence des populations de ce ravageur (même espèce ou espèces voisines) présentes dans ces deux régions. D'autre part, outre les effets opposés que peuvent avoir certains caractères sur des populations différentes de ravageurs, une variété résistante à un ravageur abondant dans une région donnée peut connaître des infestations d'autres ravageurs habituellement considérés comme secondaire par le simple fait de libérer une niche écologique. Ainsi, il importe d'assurer toujours une surveillance de la culture d'une variété résistante à un ravageur pour déceler suffisamment tôt les modifications possibles dans l'entomofaune nuisible du cotonnier.

En conclusion en dehors du caractère pileux (et à l'opposé du caractère glabre bien que le choix de celui ci soit essentiellement guidé par les avantages qu'il procure en récolte mécanique) peu d'applications pratiques des études sur la résistance variétale du cotonnier à ses ravageurs existent.



	aleurodes		jassides		pucerons		mirides	
	% feuilles infestées	% plants infestés	% feuilles infestées	% plants infestés	% Feuilles infestées	% plants infestés	% feuilles infestées	% plants infestés
NTA 93 2	0,34 b	0,91 b	0,51	2,44	0,44	1,62	13,19	46,53
S 188 Okra	0,06 a	0,22 a	0,46	2,30	0,33	1,20	13,28	45,39
F variété	10,93	8,09	0,25	0,10	0,77	1,12	0,02	0,38
Signification variété en % transformation	0,2 arcsin √	0,6 arcsin √	62,2 arcsin √	74,7 arcsin √	39,0 arcsin √	29,6 arcsin √	87,7 arcsin √	54,7 arcsin √

2.1.3 variétés génétiquement modifiées

Depuis quelques années, il est possible de transférer aux cotonniers des gènes codant pour la synthèse de δ endotoxines (naturellement produites par différentes souches de la bactérie *Bacillus thuringiensis* Berliner efficaces contre quelques déprédateurs). Les gènes correspondant à ces toxines ont été identifiés et synthétisés pour être incorporer par manipulation génétique dans le patrimoine génétique de variétés de cotonnier qui deviennent alors capables de produire ces toxines : respectivement : Cry IA(b), Cry IA(c), Cry IIA et Cry IB pour le contrôle des lépidoptères carpophages (*H. armigera* et le ver rose), Cry IC pour celui de *S. littoralis* et Cry IIIA pour celui de chrysomèles. Certains pays ont déjà opté pour la culture de telles variétés sur de grandes surfaces mais le danger de voir apparaître rapidement des ravageurs résistants à ces toxines n'est pas négligeable. Il conviendrait alors d'adopter des stratégies de diffusion avec des plants transformés et non transformés (cultures refuges, dispositifs d'alternance, dispositifs en mosaïque) ou introduire dans les variétés des gènes codant pour d'autres substances nocives au développement des ravageurs (inhibiteurs de protéases, oxydases) afin de retarder les acquisitions de résistance. Par ailleurs outre que leur intérêt (phytosanitaire, économique et social) face à d'autres stratégies reste encore à démontrer dans les conditions du Mali, l'utilisation de variétés produisant des toxines efficaces contre un ravageur indépendamment des niveaux d'infestation de celui-ci peut apparaître contraire aux principes de la protection intégrée. L'introduction de gène précurseur qui déclencherait celui ou ceux de la synthèse de ces toxines mais qui ne serait activé qu'à la suite d'attaques du ravageur cible remédierait à cet inconvénient.

2.2 Choix approprié de pratiques culturales

Certaines des pratiques culturales de lutte contre les ravageurs peuvent être aussi anciennes que la culture d'espèces sauvages plus résistantes aux ravageurs évoquée précédemment. Ainsi, dans la région de Fignolé au Nord Cameroun, pour éviter les fortes infestations de *D. watersi* qui apparaissaient en fin de campagne, les agriculteurs avaient l'habitude de semer leurs champs presque à la fin de la saison des pluies en choisissant des sols dont les caractéristiques permettaient aux cotonniers d'accomplir leur cycle pendant une partie de la saison sèche sans stress hydrique.

On pourrait classer ces pratiques culturales en deux groupes même si certaines peuvent appartenir aux deux en fonction des ravageurs concernés. Le premier groupe concernerait les mesures qui permettent de limiter les dégâts des ravageurs et le second celles qui réduiront directement ou indirectement les populations de ravageurs.

2.2.1 limitation des dégâts

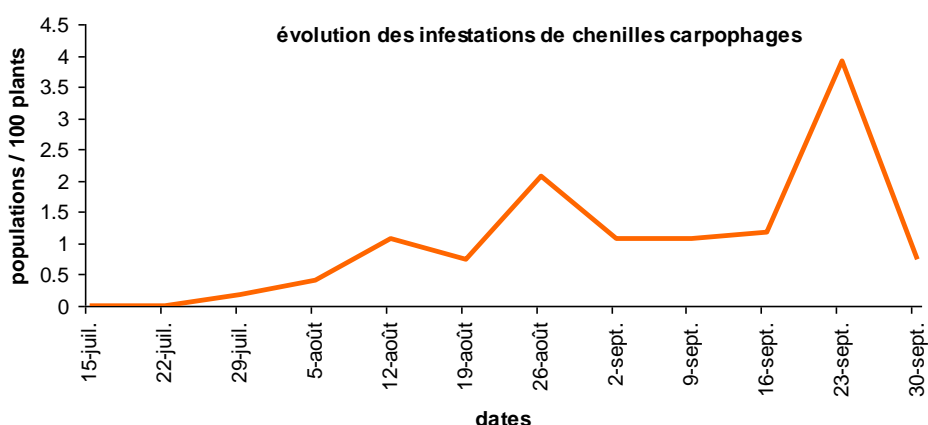
Augmenter la vigueur de la plante : Comme pour toute autre plante, plus le cotonnier est fragile plus il est vulnérable à ses ravageurs. On doit donc s'efforcer de placer le cotonnier dans de bonnes conditions de croissance et de développement pour renforcer sa vigueur et ainsi ses capacités de tolérance vis-à-vis des ravageurs. D'autre part, ces bonnes conditions permettront à la culture de mieux répondre aux interventions qui seront dirigées contre ces ravageurs. Lorsque cela est possible la première des mesures à mettre en œuvre consiste à bien choisir la parcelle pour éviter les sites très infestés en agents pathogènes (fusariose, verticilliose, etc), en nématodes ou même en ravageurs (certains parcs arborés, proximité de zones de refuges) et les sites mal drainés car le cotonnier supporte mal un engorgement hydrique même temporaire.



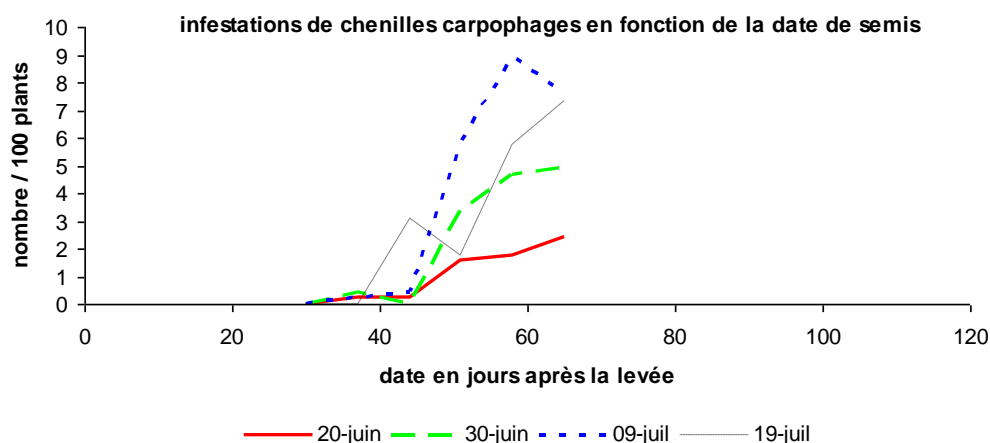
A l'implantation les préparations du sol devront favoriser le bon établissement de la culture et assurer un bon développement racinaire pour une bonne alimentation hydrique et une bonne nutrition minérale des plants. La sélection de semences garantira l'absence de tout agent pathogène qui pourrait en se développant affaiblir ultérieurement les plants. La fertilisation apportée devra corriger les carences naturelles et répondre aux besoins de la plante au cours de son développement. La fertilisation devra donc être équilibrée car déséquilibrée par défaut car elle affaiblira les défenses du cotonnier et par excès car elle pourra augmenter certaines

infestations (cas des excès d'azote pour les jassides). Enfin, bien que certaines espèces puissent constituer des refuges pour la faune utile, on doit veiller au bon contrôle des adventices surtout dans les premiers stades de développement du cotonnier pour éviter qu'il se fragilise.

Eviter une coïncidence entre de fortes infestations et une phase sensible pour la production de la plante ou de la parcelle : En général, les infestations de beaucoup de ravageurs croissent au fur et à mesure de l'avancement dans la campagne. Cela est vrai pour les jassides, les aleurodes mais aussi pour les ravageurs carpophages comme *H. armigera*.



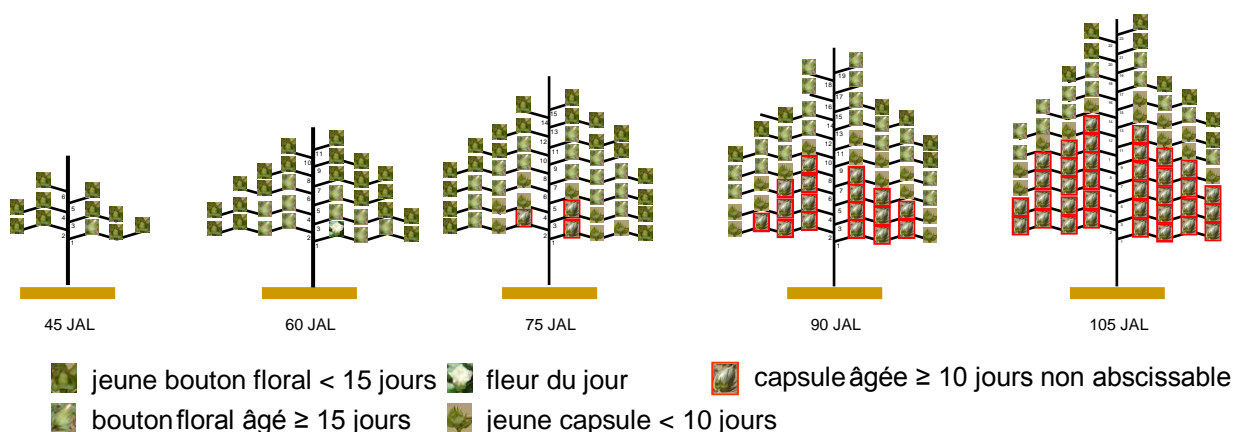
Vis-à-vis de ce dernier il est possible de limiter son incidence en adoptant des pratiques culturales qui placeront en dehors des périodes de fortes infestations la période de la phase fructifère la plus déterminante dans l'élaboration des rendements. Lorsque cela est possible la pratique la plus connue consiste à semer très tôt en bénéficiant dans certains cas de techniques d'implantation rapide (travail minimum du sol).



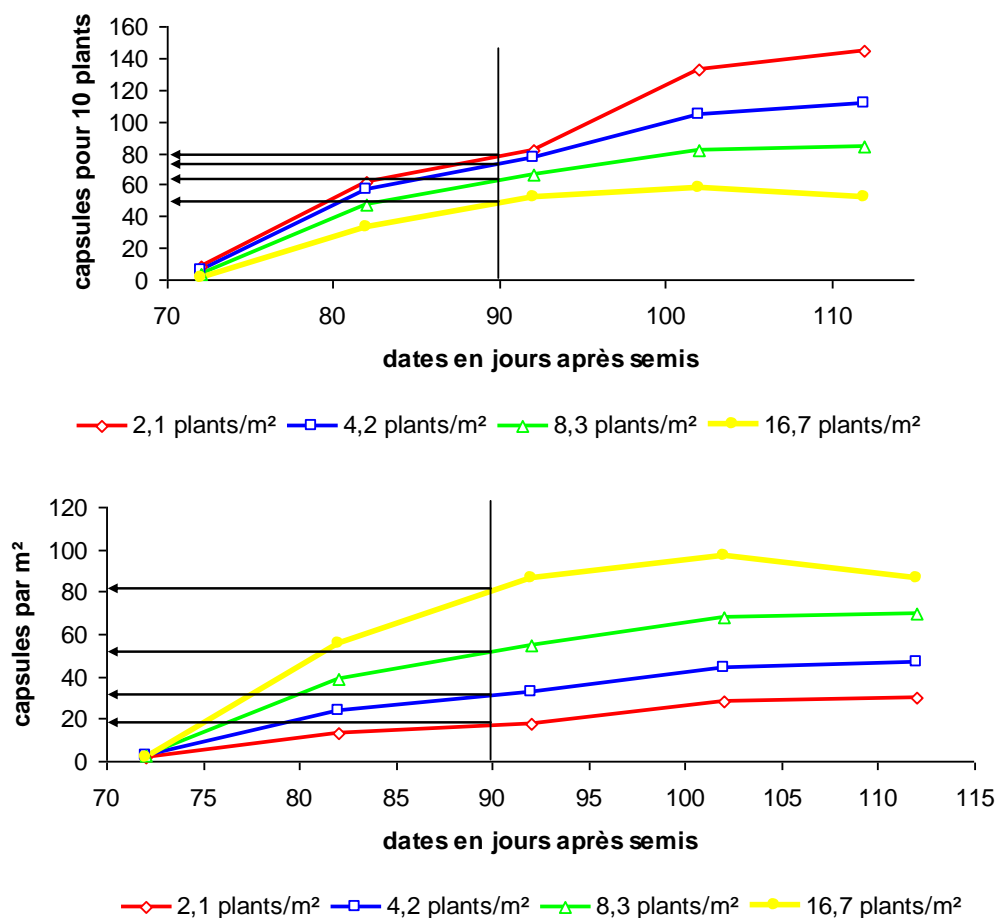
Le choix d'une variété pour ses caractéristiques de précocité contribuera également à l'atteinte ce but. Cependant, l'exemple de l'attitude des paysans camerounais pour contourner les fortes infestations de *D. watersi* montre que la précocité du semis n'est pas toujours la seule pratique à mettre en œuvre. D'autre part, certaines maladies transmises par vecteurs (maladie bleue et virescence) sont souvent plus

fréquentes sur les semis précoces que sur les semis tardifs. Mais la remise en cause de la précocité d'un semis ne doit pas se faire au détriment des espérances de rendement souvent plus fortes qu'elle procure.

Modifier le processus d'élaboration de la production : Le cotonnier est une plante caractérisée par une floraison indéterminée. En général à partir du 50-55^{ième} jour après la levée la première fleur apparaît. Les fleurs suivantes apparaissent successivement tous les 3-4 jours le long de la tige principale et tous les 6-7 jours le long d'une même branche fructifère.

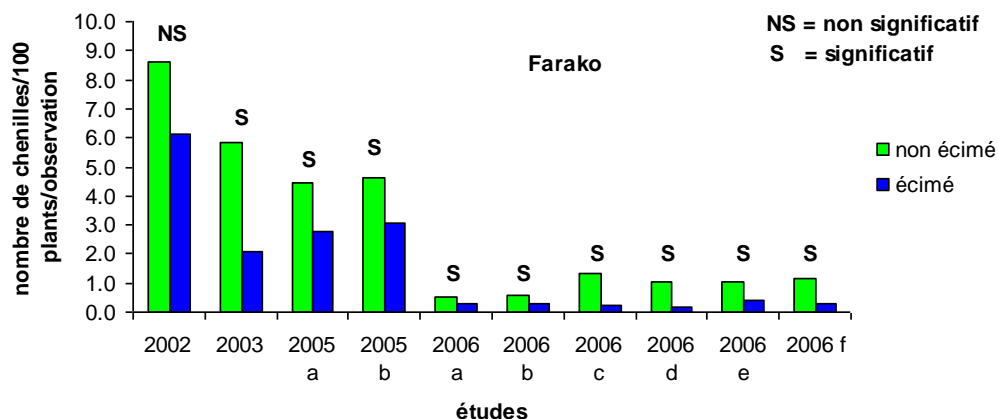


Ainsi, en l'absence de tous dégâts de ravageurs et de stress à l'origine d'abscission, la production finale d'un plant pourrait être obtenue à partir de fleurs apparues à différentes périodes au cours du cycle. Cependant cela n'est que rarement le cas. Les rétentions d'organes fructifères à un moment donné vont certainement dépendre des rétentions précédentes. Alors, très souvent ces sont les premières fleurs apparues qui participent le plus à l'élaboration de la production du plant. La contribution des fleurs apparaissant ultérieurement diminue progressivement, mais certaines peuvent encore avoir une grande importance sur la production finale dans certaines situations. L'élaboration de la production va également dépendre des dynamiques d'infestations de ravageurs et des périodes de stress rencontrées. Ainsi, tous les organes fructifères apparus en dehors des périodes de fortes infestations et/ou de stress important participeront plus que les autres à l'élaboration de la production. En conséquence à l'échelle de la parcelle plus le nombre d'organes fructifères produits pendant ces périodes sera élevé plus grandes seront les chances d'atteindre des rendements élevés. Alors, un moyen d'augmenter ce nombre d'organes fructifères à l'échelle de la parcelle pourrait être de pratiquer des densités de plantation élevées. A titre d'exemple supposons que compte tenu des conditions rencontrées dans une zone, seule la première fleur d'un plant puisse donner une capsule, le nombre de capsules récoltées à l'hectare passera de 20.000 à 100.000 pour des densités allant de 20.000 à 100.000 plants par hectare. Ce même raisonnement pourrait s'appliquer à d'autres périodes du cycle de sorte que la pratique de fortes densités de plantation constitue surtout une mesure pouvant minimiser les risques au niveau de la culture.



Enfin, en liaison une parfaite connaissance des périodes de fortes infestations et/ou de stress pour la plante, il est possible de coupler cette pratique avec une intervention (une application de régulateur de croissance ou d'insecticide qui favorisera la rétention d'organes fructifères déjà formés. L'écimage raisonné des cotonniers agit aussi dans ce sens mais de plus il détourne les ravageurs carpophages de la culture.





Soustraire manuellement la production aux dégâts de ravageurs : Pour le cotonnier cette pratique ne concerne que les ravageurs pullulant après l'ouverture des capsules car il ne peut être question de détruire des feuilles et plus encore des organes fructifères en cours de cycle. Les ravageurs concernés, pucerons et aleurodes, qui sécrètent des miellats se déposant sur la fibre des capsules ouvertes, verront leurs effets atténués voir disparaître si des récoltes précoces puis régulières sont pratiquées car la durée d'exposition de la fibre à leur pollution s'en trouve réduite.

2.2.2 réduction directe ou indirecte des populations de ravageurs

Détruire ou réduire les supports nécessaires au développement ou au cycle de ravageurs: Il y a très peu d'interventions de ce type sur la culture cotonnière comme sur beaucoup d'autres cultures car les supports pour le développement ou le cycle de ravageurs sont souvent soit les organes productifs soit des organes contribuant à cette production (photosynthèse). Quelques exemples peuvent toutefois être donnés à propos du cotonnier. Les adultes d' *H. armigera* déposent préférentiellement leurs oeufs au sommet des plants de cotonnier et dans certains pays les paysans étêtent leurs cotonniers lorsqu' une vingtaine de nœuds se sont déjà formés sur la tige principale. Cette pratique, qui limite effectivement les pontes de ce ravageur lors des fortes infestations de fin de campagne, peut toutefois réduire les productions si elle est réalisée trop tôt. Le ver rose du cotonnier (*P. gossypiella*) est un ravageur oligophage qui apparaît souvent tardivement pendant le cycle de culture dans les régions où il est présent. La culture d'une variété précoce qui n'offrira pas, ou pas suffisamment, d'organes fructifères présentant des caractéristiques favorables au développement de ce ravageur contribuera à diminuer les populations qui entreront en diapause et réduira donc les infestations de l'année suivante. Pour les pucerons et aleurodes qui se développent en fin de campagne et produisent des miellats venant polluer la fibre des capsules, en détruisant les feuilles, dont la photosynthèse n'est plus guère très utile à ce moment du cycle, on peut limiter leur développement. Cette défoliation ne peut être obtenue qu'avec des produits chimiques dont l'efficacité n'est malheureusement pas toujours assurée. Enfin après la récolte, la destruction des résidus de culture obligeant les ravageurs qui ne peuvent entrer en diapause à rechercher d'autres plantes hôtes pénalisera les espèces à faible pouvoir migratoire si ces plantes ne se trouvent pas dans un environnement proche et/ou disparaissent également.

Détourner les ravageurs de la culture : De nombreux ravageurs du cotonnier sont polyphages et d'autres plantes peuvent être utilisées si elles les attirent préférentiellement pour les détourner ainsi du cotonnier. Des *Hibiscus* peuvent par exemple attirer des altises, des jassides, *Earias* ou *H. armigera*. On cite également le cas du maïs vis-à-vis de ce dernier ravageur, mais l'attraction préférentielle de cette plante cultivée serait de courte durée. Ce piégeage est parfois pratiqué en semant plus tôt que la culture d'autres cotonniers sur lesquels les premières générations de ravageurs seront attirées et ensuite détruites. Certaines plantes cultivées en association avec le cotonnier pourraient jouer également ce rôle qui pourrait néanmoins s'avérer néfaste si la compétition dans l'attraction ne durait que pendant une période limitée (cas du maïs et d' *H. armigera*). D'autre part, dans le cas du cotonnier planté en relais dans des cultures de maïs (environ 40 à 50 jours avant la récolte de ce dernier) c'est grâce à un effet de barrière que les infestations de certains ravageurs (jassides) sont plus faibles sur le cotonnier pendant la période de cohabitation.

Détruire les ravageurs : Il existe peu de pratiques culturales qui détruisent directement les ravageurs présents en culture cotonnière. La plus souvent citée dans ce domaine est la collecte manuelle des ravageurs au niveau de la parcelle. Mais, elle ne devrait être réalisée que si les coûts de main d'œuvre au regard de son efficacité sont intéressants comparés à ceux d'une autre intervention (souvent chimique). Les pratiques culturales de préparation des sols ou d'entretien des parcelles peuvent aussi détruire directement certains stades de développement de ravageurs qui s'accomplissent dans le sol. Mais, c'est en les exposant à des facteurs adverses (climat et auxiliaires) que ces pratiques sont surtout efficaces. Certaines plantes dont la culture est associée à celle du cotonnier pourraient également favoriser le contrôle de certains ravageurs en augmentant les populations d'auxiliaires (en particulier celles de prédateurs pour le contrôle d'insectes piqueurs suceurs comme les pucerons) mais ce rôle n'a pas été souvent mis en évidence de manière irréfutable. Enfin, en modifiant le micro-climat au sein de la culture le développement de certains ravageurs peut être affecté. Ces modifications peuvent être obtenues par la culture d'une variété à feuilles laciniées (okra) qui provoquerait la dessiccation de formes larvaires de *B. tabaci*, par l'augmentation de la densité du peuplement végétal qui touche en particulier les jassides (les infestations sont plus faibles avec de fortes densités) ou par l'association du cotonnier à d'autres plantes cultivées.

2.3 Emploi de moyens biologiques

2.3.1 les phéromones

Une grande partie de ces substances qui agissent à de très faibles quantités sont émises par un insecte adulte pour attirer un individu du sexe opposé. Pour beaucoup d'espèces économiquement nuisibles au cotonnier des phéromones ont été identifiées et synthétisées : *Alabama argillacea* (Hübner), *Anthonomus grandis grandis* (Boheman), *D. watersi* et *D. castanea* (Hmps), *Earias insulana* (Boisduval), *H. armigera*, *H. zea* (Boddie), *Heliothis virescens* (Fabricius), *P. gossypiella*, *C. leucotreta*, *Spodoptera littoralis* (Boisduval), etc. Les phéromones sexuelles peuvent être utilisées pour :

la surveillance des infestations : On peut capturer des individus du même sexe d'une espèce en utilisant des pièges (parfois particulier à une espèce) dans lesquels on place les substances contenues dans des capsules qui permettent leur diffusion. Ces pièges peuvent être parfois efficaces pendant plus d'un mois. Les captures renseignent bien en général sur la présence d'une espèce à un moment donné (bien que pour *H. armigera* les premières pontes soient observées avant les premières captures), mais le relevé des nombres de captures au cours de la campagne ne donne souvent qu'un aperçu de la dynamique d'une espèce au sein d'une culture car toutes les tentatives pour relier ces nombres de captures aux infestations rencontrées ont donné peu de résultats. Ces pièges ne peuvent donc pas en général être utilisés pour des avertissements ou de l'aide à la décision.

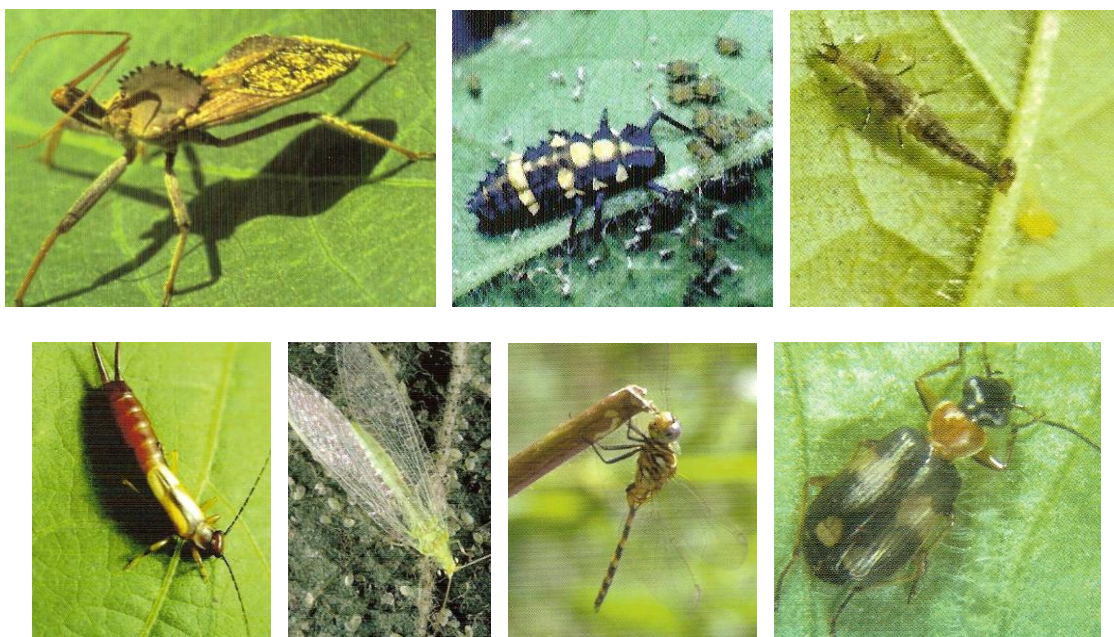
la confusion sexuelle : On peut également employer les phéromones sexuelles pour perturber les accouplements d'une espèce au sein d'une culture et donc réduire leurs infestations. Ces substances peuvent être épandues comme des insecticides grâce à l'emploi de formulations particulières ou en accrochant des diffuseurs aux tiges des plants. Pour que la confusion sexuelle soit efficace il est nécessaire que les substances comme les formulations soient stables et que la cible ait un faible pouvoir de migration et ne soit pas polyphage (il est nécessaire que l'essentiel des accouplements de l'espèce ait lieu au sein de la culture). Pour qu'elle soit intéressante (en raison des quantités nécessaires et du coût de leur fabrication), il faut que l'espèce visée soit d'une réelle importance économique et que de fortes raisons justifient un changement dans les stratégies de lutte jusqu'alors développées contre elle. Quelques ravageurs du cotonniers pourraient faire l'objet d'une lutte de ce type en fonction des régions (*D. watersi* et *D. castanea* (Hmps), *E. insulana* (Boisduval), *P. gossypiella* et *C. leucotreta*) mais c'est surtout contre le ver rose que les tentatives ont été les plus nombreuses sur des surfaces parfois conséquentes avec des succès plus ou moins marqués (Etats Unis, Egypte, Inde, Côte d'Ivoire, etc). Pour diminuer le coût de cette méthode de lutte, on a parfois inclus une faible quantité d'insecticide (les pyréthriinoïdes se révélant les plus efficaces) au niveau de chaque source d'émission de phéromone. Cependant il fut rarement mis en nette évidence que l'effet de l'insecticide était plus important que celui de la confusion sexuelle.

des captures massives d'individus : Dans la capture massive des individus d'une espèce il importe de connaître, par rapport à la population existante, le taux de capture que l'on veut obtenir pour réduire les infestations en dessous de leur seuil de nuisibilité (estimé à plus de 90 % pour les lépidoptères car on ne piège que des mâles) et par voie de conséquence de définir le nombre de pièges nécessaires par unité de surface (en général de quelques uns à quelques centaines à l'hectare). Comme pour la confusion sexuelle, l'espèce visée doit avoir un pouvoir de migration faible et ne doit pas être polyphage. Cette méthode de lutte a fait l'objet d'applications contre *S. littoralis* (les pièges ne sont parfois pas placés uniquement au sein de la culture) et contre *P. gossypiella* avec des succès très variables tenant parfois à la difficulté de les estimer. Mais, c'est contre le charançon (*A. grandis grandis*) que les plus grands espoirs existent dans l'utilisation de cette méthode de lutte car les individus des deux sexes peuvent être attirés (phéromone d'agrégation). En ajoutant des phagostimulants et des substances attractives issues de la plante on a pu améliorer l'efficacité de cette méthode de lutte contre ce charançon. Enfin et toujours vis-à-vis de ce charançon, au sein d'une culture piège présente avant la

culture principale cette méthode de lutte avec des phéromones a permis d'y réduire les infestations en capturant puis en tuant (avec un insecticide) les individus de la première génération.

2.3.2 L'emploi d'entomophages et de prédateurs

Qu'il s'agisse de prédateurs (annexe 2) ou de parasitoïdes (annexe 2), les auxiliaires utiles présents en culture cotonnière au Mali sont très nombreux. Mais, les populations d'auxiliaires naturels existant au sein d'une culture ne se sont souvent pas suffisantes pour provoquer une mortalité intéressante dans les populations d'un ravageur qui peut alors provoquer des dégâts importants.



Malgré leur bonne adaptation à leurs nouvelles conditions dans certains cas, l'introduction d'auxiliaires exogènes, qui pourrait éviter de renouveler les lâchers, n'a pas connu beaucoup de succès en culture cotonnière que ce soit par exemple contre l'anthrome (*A. grandis grandis*) avec une fourmi prédatrice (*Ectatomma tuberculatum* Ol.) et des braconides (*Bracon vesticida* Vier., *Triaspis vesticida* Vier. and *B. kirkpatricki* Wilk.) ou contre le ver rose et d'autres ravageurs carpophages avec *B. kirkpatricki*, *Trichogramma brasiliensis* Ashm, *T. minutum* Riley, *Chelonus blackburni* Cam, *Apanteles marginiventris* Cresson, *A. kazak* ou *Eucelatoria bryani* Coq..



Ainsi on a le plus souvent recours en culture cotonnière à des lâchers d'auxiliaires endogènes pour augmenter les populations naturelles et accroître leur efficacité. En

fonction de la période et du but recherché ces lâchers pourront être plus ou moins importants : de faibles quantités en début de campagne, des lâchers plus importants et répétés par la suite et enfin des lâchers inondatifs. Mais la réussite de ces méthodes de lutte dépend des principales conditions suivantes :

les lâchers doivent coïncider avec un stade sensible du ravageur visé et être réalisés dans des conditions favorables relatives à la plante et au climat

l'agent biologique doit être choisi en fonction de son efficacité vis-à-vis de la cible et cette efficacité doit être par ailleurs contrôlée périodiquement en raison de modifications possibles de comportement de l'agent après une adaptation aux conditions d'élevage

puisque'ils ne peuvent pas être stockés, la production en quantité de ces agents biologiques de lutte doit correspondre dans le temps aux besoins ce qui exige des unités de production adaptées au niveau tant des équipements que des compétences des personnels responsables

la production de ces agents biologiques doit être assurée à des coûts les plus compétitifs possibles. Pour la plupart des prédateurs et des parasites cette production est très coûteuse car elle nécessite l'élevage de l'hôte naturel et la fécondité des parasites est faible. Pour ces deux raisons, les agents biologiques les plus utilisés furent les trichogrammes (pour lesquels il existe des hôtes alternatifs) et les chrysopes (qui peuvent s'élever sur milieu artificiel).

l'acceptation de ces méthodes de lutte par les planteurs doit être acquise car elles nécessitent une surveillance de la culture et une précision dans leur mise en œuvre. D'autre part, ils doivent être conscients de l'incompatibilité dans le temps entre ces pratiques et la lutte chimique

2.3.3 L'emploi d'agents entomopathogènes

Les agents entomopathogènes peuvent être des virus, des bactéries, des protozoaires ou des champignons. Dans les conditions naturelles certains de ces agents sont très efficaces comme les entomophthorales qui réduisent considérablement les populations de pucerons pendant la saison des pluies. Mais, le plus souvent leur rôle n'est pas suffisant. L'idée de les produire et de les épandre sur une culture pour entraîner des épizooties au sein des populations d'un ravageur a alors été envisagée à propos du cotonnier.



Les virus d'insectes les plus utilisés dans le domaine agricole sont les baculovirus. Sur cotonnier, une granulose fit néanmoins l'objet d'applications contre *C. leucotreta*. Les baculovirus provoquent des maladies appelées polyèdroses parce qu'ils sont enfermés dans des corps d'inclusion polyédriques. L'enveloppe de ces inclusions, ingérées par un insecte, est dissoute à l'intérieur du tube digestif. Les virus sont alors libérés et traversent l'épithélium intestinal pour gagner les corps gras où ils se multiplieront. Ils provoquent la lyse de ces cellules entraînant la mort de l'insecte dont le cadavre est de nouveau riche en polyèdres. Ces nouveaux polyèdres pourront être ingérés par un autre individu et provoquer également sa mort en suivant le même processus. Les cibles des baculovirus sont des lépidoptères et sur le cotonnier ils furent utilisés surtout contre des chenilles carpophages (*H. armigera*, *Heliothis zea*, *P. gossypiella*) et phyllophages (*Trichoplusia ni*, *Spodoptera exigua*, *S. litura* et *S. littoralis*). Pour des raisons pratiques, malgré l'existence de baculovirus spécifiques à des ravageurs du cotonnier (*H. armigera*, *D. watersi*, *E. insulana*, *S. exigua*, *S. littoralis*, *Amsacta* sp, *Anomis flava* etc), les tentatives d'utilisation ont souvent eu recours à des préparations commerciales (virus d'*Autographa californica* ou de *Mamestra brassicae*) pouvant être appliquées comme des insecticides. L'efficacité des préparations de baculovirus, qui est d'autant plus forte que les cibles sont jeunes, est toutefois limitée par leur faible rémanence (destruction par les exsudats foliaires et par les rayons UV), la nécessité de l'ingestion (handicap pour certaines chenilles carpophages qui pénètrent rapidement dans les capsules et n'en sortent plus), leur spécificité et les quantités de polyèdres exigées. Dans certaines situations cette efficacité a pu être augmentée par l'adjonction de phagostimulants et de faibles doses d'insecticide. Cependant l'intérêt de ces préparations se heurte encore à leur coût élevé lié à la fois à leur préparation, à la quantité nécessaire à chaque application et la fréquence des applications.



Pénétrant par des blessures de nombreuses bactéries sont entomopathogènes mais seuls les bacilles sporulants peuvent contaminer des insectes sains. Le bacille le plus connu est *Bacillus thuringiensis* Berliner qui, lors de la sporulation, produit des toxines dont la δ endotoxine la seule autorisée d'utilisation en agriculture. Cette toxine se fixe sur la membrane de l'intestin et provoque sa destruction. L'insecte meurt alors par septicémie. En fonction des souches de *B. thuringiensis* la δ endotoxine est différente et présente une spécificité d'action. Des gènes codant pour différentes toxines ont été identifiés. Pour les ravageurs du cotonnier ces gènes sont principalement : Cry IA(b), Cry IA(c) Cry IIA et Cry IB pour des toxines permettant le contrôle des lépidoptères carpophages (*Helicoverpa armigera* Hübner et le ver rose), Cry IC pour celle efficace contre *Spodoptera littoralis* (Boisduval) et Cry IIIA pour celle employée contre les chrysomèles. Des préparations commerciales contenant

ces toxines sont produites. Comme pour les baculovirus puisqu'elles doivent être ingérées pour pouvoir agir, ces préparations sont efficaces surtout vis-à-vis des ravageurs phyllophages. Des cas de résistance à ces toxines ont déjà été rapportés chez dans des populations de ravageurs du cotonnier.

2.4 L'emploi raisonné d'insecticides

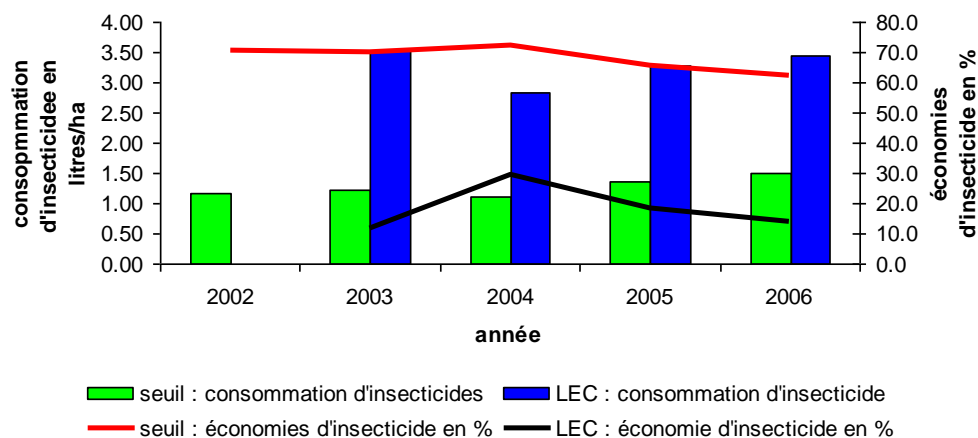
2.4.1 Historique de l'emploi des insecticides de synthèse en culture cotonnière au Mali

Il est très vite apparu que les ravageurs de la culture cotonnière au Mali pouvaient être contrôlés de manière satisfaisante par des applications insecticides réalisées régulièrement (tous les 14 jours) à partir du 45^{ième} jour après la levée. Ce programme de protection qualifié de « calendaire » permet en effet de garantir entre 85 et 90 % du potentiel de production et de réduire considérablement la part du coton jaune dans la récolte (à 1 %). On peut juger excessif cette utilisation d'insecticides mais il faut la relativiser en considérant les pratiques en cours dans d'autres pays producteurs de coton : 15 à 20 traitements en Chine et au moins 12 au Brésil. Mais, ce programme de protection, qui, encore aujourd'hui, concerne plus de 80 % des superficies emblavées en cotonniers au Mali, n'est que partiellement respecté par les producteurs. Toutes les raisons de ce non respect des recommandations restent encore à rechercher mais le coût des insecticides résultant de l'application réelle de ce programme est souvent jugé trop élevé par les producteurs.

En tenant compte de ces deux constats (non respect des recommandations et coût élevé de la protection par l'application du programme « calendaire ») mais aussi pour des préoccupations légitimes de protection de l'environnement et de la santé humaine, à la suite de travaux de recherche, une nouvelle approche de la protection phytosanitaire du cotonnier a vu le jour en Développement à partir de 1994 : il s'agit de la « lutte étagée ciblée » qui en 2006 concernait 100 000 ha au Mali. Cette approche repose sur des interventions aux mêmes dates que celles du programme calendaire mais en employant que la moitié de la dose d'insecticide recommandée et sur des interventions intercalaires (7 jours après une intervention calendaire) avec l'autre moitié de la dose d'insecticides si les pressions de certains ravageurs les justifient. Les économies qui étaient au minimum de l'ordre de 2 litres/ha (50 %) jusqu'en 1999 sont maintenant inférieures à 1,0 litre/ha (sur la base de 4 litres/ha consommés au minimum par la majorité des producteurs appliquant le programme calendaire).

Les économies d'insecticides générées par la « lutte étagée ciblée » sans perte de performances productives furent à l'origine d'une nouvelle approche de la protection de la culture cotonnière dans laquelle les interventions insecticides ne sont réalisées que lorsque les niveaux d'infestations de certains ravageurs atteignent un niveau les rentabilisant : ce sont les programmes d'interventions sur seuil sensu stricto. Ces programmes ont été diffusés pour la première fois en 2001 et ils concernaient déjà plus de 24 000 ha en 2006. Même si actuellement la première intervention n'est plus réalisée en tenant compte de seuils d'infestation, les programmes d'interventions sur seuil au Mali engendrent des économies d'insecticides plus importantes que la « lutte étagée ciblée » avec moins de variations interannuelles : économie comprise entre 2,5

et 3 litres/ha d'insecticide (sur la base de 4 litres/ha consommés au minimum par la majorité des producteurs appliquant le programme calendaire).



2.4.2 Les principes des interventions sur seuil

Lorsque toutes les alternatives à la lutte chimique n'auront pas permis de contenir ou d'éliminer des populations de ravageurs (ou leurs dégâts) on aura recours à une intervention chimique mais uniquement si les dégâts (en quantité comme en qualité) que pourrait provoquer les infestations de ces ravageurs sont économiquement plus importants que les coûts engendrés par cette intervention chimique en liaison avec son efficacité. Si les coûts directs de l'intervention sont en général assez faciles à estimer (achat du produit, coût du matériel et coût de la main d'oeuvre), les coûts indirects le sont beaucoup moins en raison de la diversité des effets des pesticides. Leur utilisation peut en effet faire apparaître une autre nuisance que celle visée par l'intervention en détruisant l'équilibre existant, augmenter la résistance des ravageurs aux matières actives utilisées pour le combattre et rendre leur contrôle plus difficile par la suite et présenter des risques sérieux pour la santé humaine et l'environnement.

D'autre part, la définition d'un seuil économique pour des ravageurs va dépendre d'un grand nombre de facteurs qui peuvent inter-réagir entre eux. En particulier : la plante cultivée avec son comportement vis à vis des ravageurs (résistance au sens large), les potentialités de la culture en liaison avec les cours du produit de la culture, les effets des infestations en fonction du stade de développement de la plante et des conditions de culture, les effets attendus des ravageurs en liaison avec leur dynamique probable fonction du climat et les coûts de l'intervention liés au marché tant pour le matériel utilisé que pour les produits employés (pesticides, carburants, etc) ou la main d'œuvre intervenant. Pour toutes ces raisons, un seuil de nuisibilité ne peut être fixe dans le temps (à l'échelle de la campagne agricole ou même de plusieurs années) alors que par commodité il l'est très souvent dans la pratique.

De plus, un seuil de nuisibilité repose sur une bonne estimation des infestations (ou des dégâts) probables à un moment donné. De bonnes techniques d'échantillonnage à l'échelle de la parcelle doivent alors être mises en œuvre pour estimer l'état des infestations (ou des dégâts) à un moment donné. Des études de répartition spatiale et de solides connaissances pour prévoir l'évolution des infestations (ou des dégâts)

en l'absence d'intervention (à partir d'un état initial) seront d'autre part nécessaires.

L'utilisation raisonnée des pesticides repose également sur d'autres règles. Dans le choix des pesticides on optera pour ceux ayant à la fois une action sélective, le moins d'effets secondaires néfastes vis à vis des auxiliaires et de l'environnement et les moins toxiques pour la santé humaine. De plus ce choix tiendra compte des stratégies développées pour éviter ou retarder tout phénomène d'acquisition de résistance aux pesticides. Pour la même raison et limiter l'ampleur des effets secondaires (d'un sur-dosage ou d'un sous dosage), la dose d'utilisation du pesticide devra être parfaitement adaptée en respectant les recommandations en usage. Enfin, pour obtenir l'efficacité souhaitée de l'intervention on devra agir au moment où les ravageurs sont les plus sensibles au pesticide choisi et utiliser des équipements à la fois adaptés et en bon état de fonctionnement lors de la réalisation de l'intervention tout en respectant les précautions d'utilisation.

La plus part de ces questions sont abordées par la recherche au Mali pour améliorer le programme d'interventions sur seuil qui est actuellement diffusé car beaucoup d'interrogations demeurent quant à son adaptation (technique et économique) et à ses possibilités d'adoption par les producteurs. En effet :

- 1) quels que soient les ravageurs considérés, les seuils utilisés sont les mêmes que ceux mis en œuvre pour la « lutte étagée ciblée » alors qu'il n'y a plus de protection minimale garantie. Il conviendrait peut être de rechercher pour les principaux ravageurs d'autres seuils d'infestation qui soient adaptés à cette particularité.
- 2) les seuils utilisés ne changent pas du début à la fin de la campagne alors que pour un ravageur (ou un groupe de ravageurs) donné (s) l'incidence d'un même niveau d'infestation variera en fonction de l'avancement de la campagne. En général de fortes infestations de ravageurs (chenilles carpophages, jassides, etc) sont souvent plus préjudiciables à la culture en début qu'en fin de cycle et il conviendrait alors d'employer des seuils plus faibles en début qu'en fin de campagne.
- 3) une plus grande dépendance des performances productives des programmes actuels d'interventions sur seuil vis-à-vis de certains éléments de l'itinéraire technique de conduite de la culture (en particulier la densité de plantation) est soupçonnée
- 4) les programmes actuels d'interventions sur seuil sont moins rentables que les autres approches de protection chimique lorsque les potentialités de la culture s'élèvent
- 5) la compatibilité des programmes actuels d'interventions sur seuil avec les mesures mises en place pour la gestion des populations d' *H. armigera* résistantes aux pyréthrinoides n'est pas suffisamment établie
- 6) la justesse de l'échelle actuelle de prise de décision mériterait d'être vérifiée pour l'ensemble d'un terroir en raison des mouvements de ravageurs entre zones protégées et zones non protégées

7) les règles d'intervention mériteraient d'être simplifiées pour une meilleure et plus rapide adoption de ces programmes par les producteurs et une diminution des coûts de diffusion

8) les structures et les mécanismes de bonne gestion des insecticides restent à préciser sachant qu'avec des interventions sur seuil il est difficile de prévoir les quantités qui seront nécessaires d'une campagne sur l'autre et d'une région à l'autre

2.4.3 Cas des insecticides en traitement de semences

Le traitement de semences avec des insecticides mérite d'être abordé spécifiquement. En effet cette pratique est souvent considérée comme faisant partie de l'arsenal des mesures de protection intégrée (peu d'effets secondaires sur les auxiliaires bien que ce ne soit pas vrai pour toutes les matières actives) alors qu'elle est en désaccord avec le respect d'un seuil pour être mise en œuvre car elle est réalisée avant même l'apparition de tout ravageur. Il n'y a donc que dans les situations où, par expérience sur plusieurs campagnes, on estime suffisante l'importance des ravageurs ou de leurs dégâts (par exemple la maladie bleue du cotonnier) que cette pratique pourra être mise en œuvre et être réellement considérée comme une mesure de protection intégrée.

2.4.4 Cas des bio-pesticides issus de plantes

Certains bio pesticides ont des propriétés insecticides ou acaricides (acore odorant, annones, pyrèthre, neem, pourgher) et sont parfois déjà utilisés en culture cotonnière. Ainsi, en fonction de leur spectre d'action lorsque cela est possible, les pesticides d'origine végétale pourront être préférés et utilisés dans les mêmes conditions que les pesticides de synthèse au regard des principes de la protection intégrée. Ils ne devraient donc être employés qu'en respectant des seuils d'intervention. Cela n'est malheureusement pas possible avec tous les bio-pesticides car certains n'ont pas d'efficacité de choc suffisante pour être utilisés de cette façon. Par ailleurs, peu d'études ont été consacrées à leurs effets secondaires et s'agissant de molécules chimiques (même si elles sont le plus souvent complexes), comme pour les insecticides de synthèse, leurs toxicologies devraient être prises en compte comme d'ailleurs l'éventuelle apparition de résistance.

annexe 1 : la faune déprédatrice du cotonnier au Mali

synthèse des activités conduites en entomologie cotonnière sur le CRRA de Sikasso de 1993 à 1999.

Bruno Michel 2000 (45 p)

Diplopoda: **Odontopigidae:** *Peridontopyge spinosissima* Silvestri, *Syndesmogenus mimeuri* Brölemenn, *Tibiomus ambitius* Attems

Acari : **Tetranychidae:** *Eotetranychus falcatus* Meyer & Rodrigues, *Oligonychus gossypii* (Zacher), *Tetranychus tchadi* Gutierrez & Bolland. **Tarsonemidae :** *Polyphagotarsonemus latus* (Banks).

Orthoptera: **Oecanthidae:** *Oecanthus* sp. **Tettigoniidae:** une espèce indéterminée. **Pyrgomorphidae:** *Pyrgomorpha vigneaudii* (Guérin-Méneville), *Zonocerus variegatus* (L.) **Acrididae:** *Catantops* sp. aff. *stramineus* (Walker), *Catantopsilus taeniolatus* (Karsch), *Kraussaria angulifera* (Krauss), *Orthacanthacris humilicrus* (Karsch).

Isoptera : **Termitidae :** *Microtermes* sp.

Thysanoptera: **Thripidae:** *Caliothrips impurus* Priesner [= *Hercothrips fumipennis* Bagnall & Cameron], *Thrips tabaci* Lindeman, *Frankliniella shultzei* Trybom, *Haplothrips gowdei* Franklin.

Hemiptera homoptera : **Cercopidae :** *Locris rubra* (Fab.). **Cicadellidae :** *Austroasca* [= *Jacobiasca*] *Iybia* (Bergevin & Zanon), *Jacobiella* [= *Empoasca*] *fascialis* (Jacobi), *Orosius cellulosus* (Lindenberg). Une dizaine d'espèces occasionnelles non identifiées. **Delphacidae :** une espèce indéterminée. **Aleyrodidae:** *Bemisia tabaci* (Gennadius), *B. afer* (Priesner & Hosney), *Trialeurodes ricini* (Misra). **Aphididae:** *Aphis gossypii* Glover. **Coccidae:** *Polyphagotaro* *jacksoni* Newst. **Pseudococcidae:** *Ferresia virgata* (Cockerell), *Maconellicoccus hirsutus* (Green), *Pseudococcus jilamentosus* Cockerell.

Hemiptera heteroptera: **Coreidae:** *Anoplocnemis curvipes* (F.), *Clavigralla* [= *Acanthomia*] *tomentosicollis* (Stal), *Cinetus* spp. (2 espèces). **Tingidae:** une espèce indéterminée. **Lygaeidae:** *Aspilocoryphus fasciiventris* (Stal), *Graptostethus servus* (F.), *Lygaeosoma villosula* (Stal), *Nysius* sp., *Oxycarenus hyalinipennis* (Costa). Cinq autres espèces non identifiées. **Stephanoccephalidae:** *Dicranocephalus* sp. **Pentatomidae:** *Acrosternum acutum* (Dallas), *A. miliaris* (Klug), *Aethemenes chloris* (Dallas), *Agonoscelis haroldi* Bergroth, *A. versicolor* (F.), *Aspavia armigera* (F.), *Boeris ventralis* (Dallas), *Menida archias* Linnavuori, *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus rubrofasciatus* (F.), *Pseudodelticus latus* (Westwood), *P. spinulosus* (Palisot de Beauvois). **Tessaratomidae:** *Haplosternus* sp. aff. *virescens* Westwood. **Scutelleridae:** *Calidea nana* Hahn & Herrich-Schäffer, *Sphaerocoris testudogrisea* (De Geer). **Cydnidae :** une espèce indéterminée. **Pyrrhocoridae :** *Dysdercus fasciatus* Signoret, *D. volkeri* Schmidt, *D. supersticiosus* (F.), *Scantius forsteri* (F.). **Alydidae:** *Mirperus jacu/us* (Thunberg), *Stenocoris* (*Erbu/a*) *stali* Ahmad. **Miridae :** *Campylomma* sp., *C. nicolasi* Puton & Reuter, *C. unicolor* Poppius, *Creontiades pallidus* (Rambur), *Eurystylus oldi* Poppius, *Helopelthis schoutedeni* Reuter, *Megacoelum apicale* Reuter, *M. scutillare* Poppius, *Stenocapsus leucochilus* (Reuter), *Taylorilygus vosseleri* (Poppius). Neuf autres espèces très occasionnelles non identifiées.

Coleoptera : **Curculionidae** : *Hadromerus* sp. aff. *saveriensis* Gerstaecker, *Mecysolobus* [= *Alcidodes*] sp., *Mylocherus hirtipennis* Hustache. Environ quatorze autres espèces indéterminées. **Apionidae**: une espèce non identifiée. **Chrysomelidae**: *Aphthona* sp., *Diacantha kraatzi* Jacoby, *Monolepta dahlmani* Jacoby, *Monolepta* sp., *Nisotra dilecta* (Dalman), *Podagrixena decolorata* Duvivier [= *Podagrica uniformis* Jacoby], *Syagrus calcaratus* (F.). Une trentaine d'espèces indéterminées. **Meloidae** : *Mylabris* (*Coryna*) *affinis* (Olivier), *M. (c.) bifasciata* De Geer, *M. (c.) chevrolati* (Beauregard) [= *M. duodecimpunctata* (Chevrolat)], *M. (c.) hermanniae* (F.), *M. (c.) latetestaceicolor* (Pic), *M. (c.) tibialis* De Marseul, *M. (c.) vestita* Reiche. Deux espèces non identifiées. **Scarabaeidae** : *Chondrorrhina abbreviata* F., *Diplognata gagates* (Forster), *Oxythyrea petiti* Gary & Percheron, *Pachnoda cordata* (Drury), *Calopopillia dorsigera* Newman. **Buprestidae**: *Sphenoptera* spp. (2 espèces). **Elateridae**: six espèces indéterminées. **Tenebrionidae**: *Chrysolagria serricornis* Borchmann, *Lagria villosa* F., *Gonocephalum* sp. aff. *simp/ex* (F.), *Tenebrio guineensis* Imhoff. **Bruchidae** : *Caryedon pallidus* (Olivier). **Melyridae**: *Melyris abdominalis* F. **Anthicidae** : *Formicomus albolineatus* Pic.

Lepidoptera: **Noctuidae**: *Anomis* [= *Cosmophila*] *flava* (F.), *Chrysodeixis acuta* (Walker), *Laphygma* [= *Spodoptera*] *exigua* Hübner, *Plusia gamma* L., *P. chalcites* Espinola, *Spodoptera littoralis* (Boisduval), *Xanthodes graellsii* (Feisthamel), *Diparopsis watersi* (Rothschild), *Earias biplaga* Walker, *E. insluna* (Boisduval), *Helicoverpa* [= *Heliothis*] *armigera* (Hübner). **Arctiidae** : *Amsacla moloneyi* Druce, *Spilosoma* [= *Diacrisia*] *punctulata* (Wallengren). **Crambidae**: *Sylleple derogata* (F.). **Tortricidae**: *Crypophlebia leucotreta* (Meyrick). **Gelechiidae** : *Pectinophora gossypiella* (Saunders). **Gracilariidae**: *Acrocercops bijasciata* Walsingham. **Cosmopterigidae**: *Pyroderces simplex* (Walsingham). **Nymphalidae** : *Charaxes jasius* Reiche.

Hymenoptera : **Formicidae** : *Messor* sp. aff. *gallus* Emery, *Messor* sp. **Tenthredinidae** : une espèce (Nematicinae) indéterminée.

Diptera : **Agromyzidae** : *Liriomyza* sp.

annexe 2 : la faune auxiliaire du cotonnier au Mali

synthèse des activités conduites en entomologie cotonnière sur le CRRA de Sikasso de 1993 à 1999.

Bruno Michel 2000 (45 p)

Les auxiliaires prédateurs

Araneae: **Clubionidae:** *Chiracanthium* sp. **Thomisidae:** *Thomisus dartevellei* Comelini, *T. spinifer* Cambridge, *Thomisus* sp., *Misumena nana* Lessert, *Synaema simoneae* Lessert, *Synaema* spp (2 espèces). **Oxyopidae:** *Oxyopes dumonti* (Vinson), *Oxyopes* sp. **Salticidae:** *Myrmarachne* sp., *Rhene* sp., *Thyene inflata* (Gerstäcker). **Theridiidae:** *Theridula gonygaster* (Simon). **Tetragnathidae:** *Tetragnatha* sp. **Araneidae:** *Neosoma moreli* (Vinson), *Araneus cerolellus* Strand, *Araneus* spp. (3 espèces) [une espèce parasitée probablement par un Ichneumonidae].

Hymenoptera: Formicidae: *Camponotus (Tanaemyrmex)* p., *Cataglyphis* sp., *Tetramorium* sp., *Myrmecaria* sp., *Crematogaster* sp., *Pheidole* sp., *Polyrhachis* sp., *Brachyponera senaarensis* (Mayr). Le statut de la plupart des espèces de fourmis reste à préciser.

Hétéroptera: **Reduviidae:** *Nagusta* sp., *Sphedanolestes picturillus* Schouteden (prédateur de *P. decolorata* sur GL 7), *Phonoctonus lutescens* (Guérin-Méneville & Percheron), *Pseudophonoctonus ? formosus* Distant, *Vitumnus ? rodhani* Schouteden, *Cosmoestes pictus* Klug. **Nabidae:** *Tropiconabis capsiformis* (Germar). **Pentatomidae** **Asopinae:** *Glyptus erubescens* Distant, *Macrorhaphis acuta* Dallas, *Afris purpureus* (Westwood). **Lygaeidae :** *Geocoris amabilis* Stal. **Pyrhocoridae:** *Probergrothius sexpunctatus* (Laporte de Castelnau) .

Coleoptera: **Staphilinidae:** *Paederus sabaeus* (Walker), *Philonthus* sp. **Coccinellidae:** *Cheilomenes propinqua vicina* (Mulsant) [id] *Ch. sulphurea* (Olivier) [*A. gossypii*], *Ch. /unata* (Olivier), *Exochomus concavus* Fürsch [id], *Scymnus senegalensis* Mader., *Scymnus* sp., *Hyperaspis senegalensis*. **Carabidae:** *Stenocallidea nigriventris* Hope.

Diptera: Syrphidae: *Paragus borbonicus* Macquart [*Aphis gossypii*], *Ischiodon aegyptius* (Wiedemann) [id].

Dermaptera : **Forficulidae :** *Forficula senegalensis* Audinat-Serville.

Dictyoptera: **Hymenopodidae:** *Psellidocreobothra ocellata* Beauv., *Pseudoharpax virescens* (Servill).

Neuroptera : **Chrysopidae :** *Chrysoperla* sp. **Myrmeleontidae :** *Creoleon nubifer* Kolbe, *Creoleon* sp., ? *Banyutus* sp. (très communs dans les bandes enherbées séparant les essais).

D'autres familles sont également représentées (espèces indéterminées): Berytidae, Anthocoridae, Vespidae, Eumenidae, Dolichopodidae, Asilidae, Hemerobiidae, Libellulidae.

Les auxiliaires parasitoïdes

Hymenoptera: **Encyrtidae:** *Copidosoma floridanum* (Ashmed) [S. derogata].
Aphelinidae: *Encarcia lounsburyi* (Berlese et Paoli) [B. tabaci], *E. transvena* Timberlake [id.], *Encarcia* sp. *africolor* [id.], *Eretmocerus mundlls* Mercet [id.]. **Braconidae:** *Meteorus laphygmarum* Brues (H. armigera, Earias sp.), *Apanteles syleptae* Ferrière [S. derogata].
Chalcididae: *Brachymeria* sp. [S. derogata]. **Trichogrammatidae :** *Trichogramma* spp. [œufs H. armigera, A. flava, D. watersi] **Ichneumonidae:** *Xanthopimpla* ? *punctata* [S. derogata], *Stictopisthus africanus* [id., hyperparasite ?]

Diptera : **Tachinidae:** *Carcelia* (*Senometopia*) sp. [H. armigera], *Steramia* sp. [X graellsii]